



## 농업용 필댐의 안전진단등급 평가법 개선을 위한 퍼지논리 적용법 개발

### A Development of Fuzzy-Logic Application for Improving Safety Diagnosis Rating Method of Agricultural Fill Dam

윤성욱<sup>a</sup> · 유찬<sup>b†</sup>

Yun, Sung-wook · Yu, Chan

#### ABSTRACT

In this study, it was developed and verified an application method of fuzzy-logic theory to the rating process of agricultural fill dam safety. A fuzzy-logic is very famous logical system when some decision making is made on the status of a lack of information. Three proxies were selected and configured membership functions (MFs) and these MFs were activated in the process of fuzzification procedures. Fuzzified values were passed through the rule-based inference system, then fire strength could be classified among cases of the rule-based inference system. To obtain final results, Mandani-type was adapted in the defuzzification process. As the results, it was shown the developed system can give a correct result that was compared with Matlab - fuzzy inference function. Moreover it could perform the detailed analysis and improvement on the infrastructure safety rating process using classical diagnosis method.

**Keywords:** Fill dam safety; infrastructure safety; fuzzy-logic; proxies; mandani inference system

#### 1. 서론

우리나라의 필댐은 전국적으로 13,000여개가 존재하며, 대부분이 중소규모의 농업용 댐인데, 약 3,400여개의 댐은 한국농어촌공사에서 나머지는 지자체에서 각각 3:7의 비율로 관리하고 있다. 그런데 이러한 필댐 중 70% 이상이 준공 년도를 50년 이상 초과한 것이며, 한국농어촌공사 관리 필댐의 45%는 70년 이상 초과된 것으로 나타나고 있다 (Choi, 2022). 댐과 같은 주요 국가 기반시설물 관리는 크게 일반 및 농업용으로 나누어 농업용 생산기반시설물은 농림축산식품부에서 관리하고 있는데, 한국농어촌공사에서 대행하고 있다. 이러한 국가기반시설물은 ‘시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법’에 의거 시설물의 규모와 중요성에 따라서 제1종, 제2종, 그리고 제3종으로 나누어 관리주체의 책임하에 일정 주기로 안전진단 (긴급 혹은 정밀)을 실시하여 행정절차에 따라 보고

하도록 하고 있다 (Ministry of Land, Infrastructures and Transport, 2021). 안전진단제도는 구조물의 종류와 규모에 따라서 육안검사와 가능한 재료시험 그리고 전문가들의 의견을 참조해서 5등급으로 나누어 관리하고 있다 (Korea Authority of Land and Infrastructure Safety; Safety Diagnosis Headquarters, Korea Rural Community Corp.).

그러나 최근에 이상기상에 따른 갑작스러운 필댐의 손상 사례들이 늘어나고 있는데, 이것이 안전진단등급과는 상관없이 발생하고 있어 전문가와 일반 국민들 사이에서 문제 제기가 종종 있다. 원래 안전진단등급의 목표는 조사대상 시설물에 대한 기능수행 지속성과 주변 환경에 미칠 수 있는 영향 등을 종합적으로 고려하여 정량적인 등급을 결정하는 것으로 시설물들의 내구성 혹은 노후도에 대한 정보들이 주로 포함되어 있기 때문에, 이상 기상현상에 대한 시설물의 안전성을 평가하기에는 한계가 분명히 있다. 하지만 최근의 이상기상현상에 따른 시설물들의 안전에 대한 불안감이 전 세계적으로 증가하는 것도 사실이기 때문에 이에 대한 대비책 마련을 고려할 필요가 있다 (ICOLD WRD, 2020; Choi, 2022).

따라서 본 연구에서는 기존 농업용 필댐의 안전진단제도를 보완/개선하는 방안에 대해서 퍼지논리 (fuzzy-logic)의 적용 방안을 연구하였다. 다만 전국의 모든 필댐을 대상으로 한 연구에는 자료수집 등에 어려움이 있어 우선 한국농어촌공사의 지사단위를 적용 대상으로 선정하고 시설물의 안전진단등급

<sup>a</sup> Agricultural Researcher, Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences

<sup>b</sup> Professor, Dept. of Agricultural Engineering, Gyeongsang Natl' University (Inst. of Agri. & Life Sci.)

† Corresponding author

Tel.: +82-55-772-1932

Fax.: +82-55-772-1939

E-mail: chanyu@gnu.ac.kr

Received: April 18, 2023

Revised: May 4, 2023

Accepted: May 8, 2023

**Table 1** Summary of national agricultural infrastructures

classification	Total		KRC*		Regional government	
	No.	Area (ha)	No.	Area (ha)	No.	Area (ha)
Reservoir	17,313	440,281	3,403	337,561	13,910	102,720
Pumping station	8,233	181,947	4,473	153,606	3,760	28,341
Inlet weir	45,643	100,918	5,891	7,618	39,752	93,300
Tide embankment	1,597	-	144	-	1,453	-
etc.	-	4,730	-	-	-	4,730
Total	72,786	727,876	13,911	498,785	58,875	229,091

\*KRC : Korea Rural Community Corp.

과 관리시설규모 그리고 최근 기후변화 상황을 반영할 수 있는 기상자료를 분석하여 반영하여 퍼지논리 시스템 모델을 작성하여 사례를 살펴보았다.

## II. 자료 및 분석

### 1. 모델안전진단등급

우리나라의 농업생산기반시설물 중 안전진단대상 저수지, 양배수장 그리고 방조제의 현황은 Table 1과 같다 (Safety Diagnosis Headquarters, KRC).

한국농어촌공사에서는 자체관리 농업생산기반시설물들에 대해서 외부전문가들과 함께 안전진단을 실시하여 그 결과를 A, B, C, D, E, 5단계로 나누어 관리하고 있다. 여기서 등급 ‘A’와 ‘B’, ‘C’까지는 기능에 문제가 없으며, 약간의 보수 등이 필요한 상태이다 그리고 등급 ‘D’와 ‘E’는 긴급보수보강, 시설물의 사용을 금하거나 개축 해야하는 상태를 말한다 (농어촌 알리미 서비스).

그런데 최근에 이상기상에 따른 강우로 인해 자연재해가 증가하고 있으며, 특히 노후화된 필댐의 붕괴와 손상이 계속적으로 발생하고 있는데, 2020년 9월에는 안전진단등급 ‘C’이었던 경주 소재 왕신저수지가 월류에 의하여 하류사면 붕괴의 사고가 발생했으며, 그 이전에도 다수의 사례가 보고된 바 있다.

따라서 일반 국민들 사이에서는 안전진단등급이 재해발생과 차이를 보이는 이유에 궁금증을 가지고 있으며 이에 대한 개선방안 수립도 고민해 보아야 할 것으로 판단되었다.

### 2. 자료수집

본 연구에서는 농업용 필댐의 안전성 평가를 위해 안전진단등급에 기후변화의 영향을 반영할 수 있는 인자 선정과 멤버십 함수 작성을 위하여 2010년~2020년 사이의 한국농어촌



**Fig. 1** Locations of weather stations

공사에서 관리 중인 생산기반시설 및 안전진단등급 그리고 재해자료들을 수집하여 분석을 실시하였다 (KRC, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016; Ministry of Interior and Safety (MoIS), 2017, 2018). 또한 기후변화로 인해 기존 시설물들에 영향을 줄 수 있는 대표적인 인자들인 태풍, 강우량, 풍속, 지진 등도 수집하여 분석하였다. 또한 최근 30년간 기상관측자료가 확보되어 있는 기상관측소 54개소의 일강수량 자료를 정리/분석하였다. Fig. 1은 관련 기상관측소의 위치를 나타낸 것이다. 강원도 지역 자료가 충분하지 않지만, 다른 지역의 기상자료가 고르게 수집되었다는 사실을 알 수 있다.

분석 대상 농업용 저수지에 대한 정보는 농어촌 알리미 서비스를 통해서 안전진단등급과 제원 및 관리이력에 대한 자료를 확인 수집/정리하여 사용하였다.

### 3. 퍼지논리 (fuzzy-logic)를 이용한 자료분석

기존 안전성 (혹은 위험성) 조사 방법론에서는 확률론적인 모델 (probability model)이 가장 많이 사용되고 있다. 확률론적 모델은 조사 대상물을 수치적인 값으로 정량화 되어야 하고, 확률적인 공간들의 집합이 서로 배타적이라면, 각각 대상들은 오직 한 집합에 속하게 된다는 전제가 되어야 한다 (Werro, 2008; Ponce-Cruz&Ramírez-Figueroa, 2009). 그러나 실제 현장에서 자료들은 주관적인 경우가 많고, 자료의 결측이 심하거나 관련 자료가 부재한 경우도 많아 그 적용에 어려움을 겪는 경우가 많아 이를 개선하기 위한 연구들이 지속적으로 수행되어 왔다 (Myeong et al., 2010; Choi et al., 2018). 그러나 결국은 이러한 방법들 역시 자료의 지속적인 축적이 필요하고 그 기간까지는 문제의 해결은 과제로 남는다.

퍼지논리 (fuzzy logic)는 1965년 Lotfi A. Zadeh에 의하여 소개된 이후 토목분야 뿐만 아니라 대부분의 산업분야에서 광범위하게 활용되어 온 수학기론이다 (Islam 등, 2017). 전통적인 집합 (crisp set)이론을 확장한 퍼지집합 (fuzzy set)은 배타적이지 않다. 즉 집합들 간에 서로 중복 (교집합)을 허용한다. 퍼지집합은 멤버십 함수 (membership function, MF)로 그 범위를 정의하며, MF는 퍼지집합 내 모든 원소 (멤버)의 범위를 [0, 1]로 한정시킨다. 여기서 '1'은 원소가 퍼지집합에 완전히 포함됨, '0'은 원소가 포함되지 않는 것을 의미한다 (Bárdossy & Fodor, 2004; Zimmermann, 2010).

따라서 MF는 원소가 퍼지집합에 포함되는지의 모호한 (vagueness) 경계를 구분해 주며, 이 과정에서 등급 (grade)을 부여하는 기준이 매우 주관적인 특성을 가지기 때문에 자료가 부족하거나 부정확한 자료에 의존하여 안전성 (혹은 위험성) 조사 및 판정과정에서 유용하게 활용할 수 있다. 실제 자연 상태에서 두 현상 경계에서의 성질이 명확하게 구분되지 않는 경우들이 많이 있는데, 이를 반영할 수 있는 특징이기도 하다.

따라서 최근 기후변화의 영향으로 각종 자연재해가 빈번하게 발생되고 있는 상황에서 기존의 자료가 부족한 상태라면 관행적인 확률론적 이론을 적용할 수 없는 어려움을 겪을 수 있는데, 이때 퍼지논리 적용성을 검토할 수 있다는 것이다 (McBratney & Odeh, 1997; Kecman, 2001; Shang & Hossen, 2013). 그러나 아직까지 농업생산기반시설을 대상으로 하는 모델개발 사례는 없는 것으로 보여 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

#### 가. 퍼지-논리 모델의 구성

퍼지논리 모델은 평가인자 (evaluation indicators), 멤버십함수 (membership function, MF) 그리고 추정규칙 (inference

rule)이 필요하다. 그 과정은 Fig. 2와 같이 입력된 자료를 퍼지화 (fuzzification)하고 추론 (inference)과정을 거쳐서 값을 얻으면, 그 값을 다시 원래의 형태로 되돌리는 비퍼지화 (defuzzification)과정을 거쳐서 출력하는 단계로 구성되어 있다 (Singh & Lone, 2020).

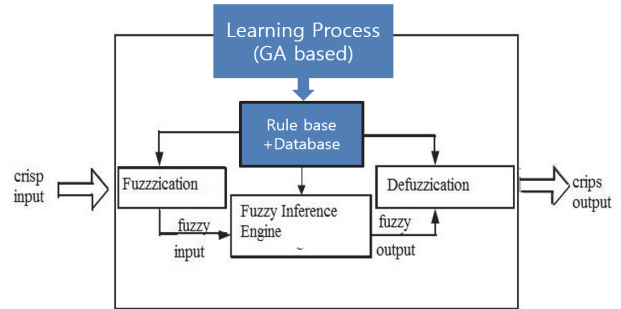


Fig. 2 Schematic diagram of fuzzy-logic process

#### 나. 멤버십함수 (MF)

퍼지화 단계에서는 입력값 (평가인자)을 MF를 이용하여 변환해 주는데, 이때 MF의 형식은 기계학습에서 Active function과 유사하지만 기능면에서는 차이가 있다. 평가인자를 정량화하기 위한 표준척도 (standard measure)는 시설물들 같은 경우에는 기상이변 발생 시의 '사고 시설물수' 혹은 '손실 (loss)액' 등이 될 수 있을 것이다. 지사단위로 농업용 기반 시설물을 관리하고 있는 한국농어촌공사에서는 기상이변에 따른 '피해발생 분포'가 주어지고 퍼지논리 모델을 이용하여 손실액의 분포를 추정할 수 있다면, 그 척도는 피해발생 분포의 '99.5th-percentile (200년 빈도)'와 같이 제시될 수 있다 (Pakosch, 2011; Shang & Hossen, 2013).

여기서 등급을 구분 짓는 과정은 Fig. 2에서와 같이 주관적인 규칙 (rule-based)을 적용하거나, 객관적인 자료가 충분히 준비되어 있다면, 자료기반 (database-based)으로 할 수 있다. 이 과정에는 기계학습 (learning process) 혹은 더 나아가 유전자 알고리즘 (GA, genetic algorithm)을 적용할 수도 있다 (Jang, 1993; Hu et al., 2019). 기본적으로 MF는 삼각형 (triangle)이나 사다리꼴 (trapezoid) 도형의 조합으로 작성되는 경우가 많다. 그러나 벨 (bell) 모양의 가우수의 정규분포를 이용할 수도 있고, 선형식 혹은 다차원 비선형 관계식으로 작성은 가능하다.

그러나 본 연구과정에서 관련자료 수집부터 어려움이 많았고, 수집된 자료들의 집계과정이나 피해액 산정과정에서도 표준성이나 객관성을 완전히 만족하기 어려운 부분이 있다고 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 기존 안전진단등급에 안



전성 평가에 활용이 가능할 것으로 예상되는 다양한 인자에 대한 분석을 실시하여 최종적으로 강우특성, 지사별 관리시설수 등을 추가하여 3가지 인자에 대해서 MF를 자료기반으로 가장 일반적인 삼각과 사다리꼴 도형을 이용한 MF를 작성하였다. 그 자세한 작성과정은 분석결과에 자세히 기술하였다.

**다. 추론시스템 (inference system)**

추론시스템은 입력값을 멤버십함수에서 적용하여 얻어지는 값들의 결과를 취합하는 단계이다. 추론시스템은 아직까지 자료가 충분하지 못하기 때문에 기존 사례들에 대한 분석과 전문가들의 자문을 통하여 지속적인 보완을 필요로 하는 과정이다. 따라서 추론시스템은 보통 “만약 A is low and b is high and c is medium, result is fair 이다.”와 같이 “if ... then ... .” 형식의 주관적인 규칙 (rule-based)을 적용하여 구성된다. 그러나 자료가 충분하다면, 자료기반 (database-based)으로 추론할 수 있다. 본 연구에서는 주관적인 규칙적용 (rule-based) 추론방식을 적용하였으며, 앞서 MF에 적용한 평가 인자별 3가지씩 추론단계를 구성하여 전체 추론시스템은 27가지의 경우로 구성하였다. 그 자세한 내용은 분석결과에서 설명하였다.

**라. 비퍼지화 (defuzzification)**

퍼지논리의 계산결과들은 최종적으로 비퍼지화 해야 해석이 가능 해진다. 즉 퍼지집합 공간에서 계산된 결과는 일반 집합공간에서 사용할 수 있도록 정량화해야 한다는 것이다. 이를 위해 많이 사용하고 있는 방식은 ‘Mandani’(1975) 그리고 ‘Takagi-Sugeno-kang’(1985) 방법이 있다. ‘Mandani’는 전문가 그룹에 의해 규칙을 만들고 그것을 기반으로 실제 시스템을 조절하기 위해 제일 초기부터 사용되던 방식으로서 매우 직관적이고 이해하기 용이한 장점으로 아직까지 많이 사용되고 있다. ‘Takagi-Sugeno-kang’는 ‘Mandani’와 상당히 유사하지만 출력을 상수 혹은 선형함수로 구성된 단일 MF를 사용하여 계산과정이 상대적으로 효율적이라는 장점이 있다. ‘Mandani’는 각 인자별 출력결과를 모두 조합하여 작성된 출력 MF의 면적에 대해서 중심점 (Centroid), 이등분값 (Bisector), 최대값의 평균 (Mean of maximum) 등으로 비퍼지화 하는 차이가 있다 (Shang & Hossen. 2013; Mathwork). 본 연구에서는 ‘Mandani’방법을 사용하여 퍼지논리 결과를 비퍼지화 하였다.

**마. 분석모델**

본 연구에서는 앞서 설명한 퍼지논리 과정을 컴퓨터에

서 일괄 계산이 가능하도록 python과 R-studio에서 코드를 작성하여 사용하였다. ‘python’은 ‘simful (<https://simful.readthedocs.io/en/latest/>)’, ‘scikit-fuzzy (<https://github.com/scikit-fuzzy/scikit-fuzzy>)’ 라이브러리 그리고 R-studio는 ‘Frbs (<https://cran.r-project.org/web/packages/frbs/index.html>)’와 ‘Sets (<https://search.r-project.org/CRAN/refmans/sets/html/set.html>)’ 라이브러리의 함수들을 사용해서 프로그램을 작성하여 계산하였다. 그리고 작성된 프로그램들의 계산결과는 Mathworks사의 ‘matlab - fuzzy-logic functon (<https://kr.mathworks.com/>)’을 이용하여 검증하였으며, 계산결과와 정확성을 확인하였다.

**III. 분석결과 및 고찰**

**1. 멤버십 함수 (MF)**

본 연구에서는 퍼지로직모델 적용을 위한 추가 인자 선정을 위해서 태풍, 강우량, 풍속 그리고 지진 등의 기상특성과 한국농어촌공사 지사별 관리 중인 시설물의 종과 개수 등을 영향인자로 고려하여 분석을 실시하였다.

그런데 분석과정에서 우리나라는 주로 하절기 우기에 태풍이 함께 영향을 주는 특성이 있으며, 이때 강풍도 영향이 있지만, 농업생산기반 시설물의 피해는 주 태풍과 동반되는 호우에 의해 발생한다는 특징을 가지고 있다 (MoIS, 2017, 2018). 따라서 기상인자 중에서는 강우량을 주요 인자로 채택하는 것이 합리적이라고 판단되었다. 강우량과 관련된 인자 중에는 시강우량, 일강우량, 강우강도, 강우지속시간, 강우일수 등등이 있지만 최근 기후변화 조사들에서 자주 참조하는 일강우량 기준으로 80 mm/day 이상인 강우일수를 사용하는 방안을 고려해 보았다 (Kim et al., 2013). 따라서 본 연구에서는 전국의 기상관측소 54개소 (Fig. 1 참조) 의 최근 30년간 (1988~2017) 일강수량 자료를 정리/분석하였다. 여기서 해당 지역 기상관측소의 최대 일강우량, 평균 일강우량, 강우량 구간별 (10 mm이하, 10~20 mm 이하, 50~80 mm 이하, 80~300 mm 이하, 300~500 mm 이하 그리고 500 mm 이상으로 구분) 발생 일수를 조사하여 평균값을 정리하였으며, 마지막에는 일강우강 80 mm/day 이상 발생일수를 합산하여 30년간 총 일강우 발생일수에 대한 비율 (이하 ‘80 DP%’로 표기)을 구하여 정리하였다. Table 2는 앞선 자료를 광역시도별로 평균값 (혹은 최대값)을 구하여 정리한 사례이다. 표에서는 지난 30년간 일강우 발생일수가 가장 많은 지역은 전남이 4,913회로서 1년을 365일로 가정했을 때, 총 10,950일 중 일강우 발생비율은 44.9%이었다. 그 다음으로 전북 (4580회)과 충남 (4227.8회)의

**Table 2** Analysis on mean daily rainfall with province (1988. 1. 1~2017. 12. 31)

Province	Total rainy days	Max. daily rainfall (mm/d)	Mean daily rainfall (mm/d)	Variance	Frequency of rain event with ranges							Frequency over 80 mm/d (ratio)
					<10	10~20	20~50	50~80	80~300	300~500	500	
Gyeonggi	3937.7	343.0	10.5	544.1	3013.5	387.3	373.3	112.8	85.5	1.2	0.0	86.7 (2.2%)
Chungbuk	4153.6	304.0	9.5	376.3	3152.4	424.4	414.8	127.8	34.4	0.2	0.0	34.6 (0.8%)
Chungnam	4227.8	264.6	9.3	387.2	3247.5	413.8	392.2	133.3	39.2	0.2	0.0	39.3 (0.9%)
Jeonbuk	4580.0	420.0	9.4	348.0	3267.0	459.3	418.3	135.4	33.3	0.4	0.0	33.7 (0.7%)
Jeonnam	4913.0	404.0	10.1	442.7	3043.4	419.1	401.1	150.1	38.6	1.0	0.0	39.6 (0.8%)
Gyeongbuk	4062.0	516.4	9.2	324.3	2879.8	412.9	393.0	119.3	22.7	0.1	0.1	22.9 (0.6%)
Gyeongnam	4041.0	439.0	12.4	586.3	2609.6	417.7	465.9	174.0	52.4	1.1	0.0	53.5 (1.3%)

**Table 3** Ranking of province with cost of natural disaster damage and Re-scaling (2009~2018, MoS, 2017, 2018)

Rank	Province	Total (1,000 won)	Re-scaling
1	Jeonnam	717,646,961	1.00000
2	Gyeonggi	556,377,698	0.77504
3	gyeongnam	493,468,115	0.68728
4	Jeonbuk	327,445,684	0.45568
5	Chungnam	301,969,733	0.42015
6	Kyeongbuk	280,394,977	0.39005
7	Kangwon	262,956,185	0.36572
8	Pusan	189,665,579	0.26349
9	Jeju	181,991,073	0.25278
10	Chanungbuk	92,271,065	0.12763
11	Ulsan	80,225,300	0.11082
12	Seoul	55,950,176	0.07696
13	Incheon	26,514,605	0.03590
14	Gwangju	22,413,083	0.03018
15	Daejeon	5,752,405	0.00694
16	Sejong	1,070,582	0.00040
17	Daegu	780,472	-

순으로 나타났다.

Table 3은 최근 10년간 지자체별 자연재해에 의한 피해액을 표준화하여 그 순위로 나타낸 것이고, Table 4는 최근 7년간 한국농어촌공사 관리시설물들 대상으로 자연재해에 의한

**Table 4** Ranking of regional sectors with cost of natural disaster damage and Re-scaling (KRC, 2010~2016)

Rank	Regional office	Total (1,000 won)	Re-scaling
1	Gyeonggi	11,441,373	0.586
2	Jeonbuk	6,357,646	0.504
3	Chungnam	4,121,889	0.274
4	Gyeongnam	3,556,084	0.322
5	Kyeongbuk	1,496,562	0.079
6	Chungbuk	993,694	0.046
7	Jeonnam	960,701	0.227
8	Keumgang	680,000	0.079
9	Kangwon	435,833	0.015

피해액과 그 표준화값을 지역본부별로 정리한 것이다. 전남, 경기, 경남, 충남 그리고 전북 등이 피해가 컸던 지역으로 파악되었다.

이는 Table 2에서 총 일강우 발생일수와 일강우량 80 mm/day이상 발생일수에서 상위에 있었던 지자체와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 총 일강우 발생일수가 높았던 경북, 충북지역은 이들 지역보다는 하위에 있었으며, 따라서 80 DP%가 이들 지역들의 특성을 조금 더 잘 반영하는 것으로 판단되었다. 충북지역은 이 비율이 높았지만 실제 피해발생은 매우 낮았던 것으로 나타났는데, 이는 관리시설물의 개수가 상대적으로 적었기 때문으로, 관리 시설물의 개수도 영향인자로 판단되었다.

Fig. 3과 Fig. 4는 80 DP%와 최근 10년간 전국단위 시도별 자연재해 피해액 그리고 한국농어촌공사 최근 7년간 도본부별 자연재해 피해액의 상관정도를 살펴본 것이다. 최근 10년간 전국단위 자료보다는 한국농어촌공사 도본부별의 최근 5년간 자연재해 피해액과 80 DP%와 상관성이 상대적으로 양호한 것으로 나타나 적용성이 있을 것으로 판단되었다.

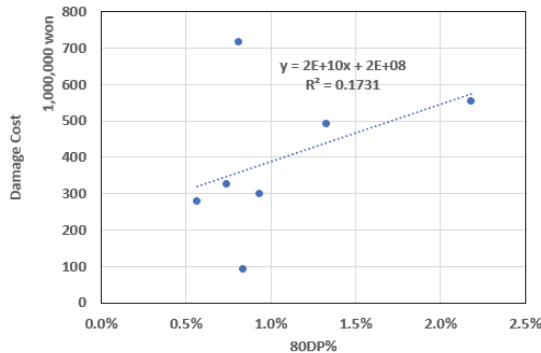


Fig. 3 80 DP% vs. Damage cost (National based)

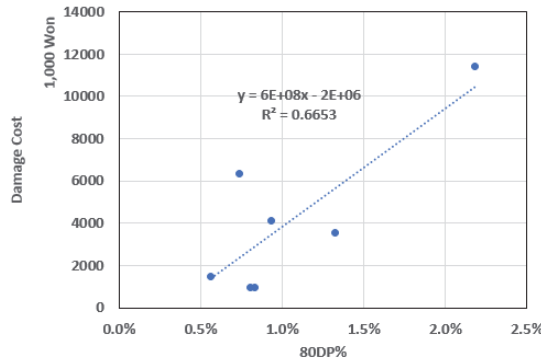


Fig. 4 80 DP% vs. Damage cost (KRC based)

또한 앞서 언급한 바와 같이 지사별 시설물 관리 개소수에 의한 영향을 알아보기 위하여 지역 본부별 관리시설수와 안전진단대상 시설물의 종별 개소수 그리고 각 종별이 차지하는 비율을 Table 5와 같이 정리하였다.

전체 관리 개소수에 대한 1종 시설수는 작게는 충북의 104개에서 전남의 300개까지 지사별로 차이가 컸으며, 2종과 3종은 차이가 더 크게 나타났다. 자연재해에 의한 피해금액이 높았던 경기는 1종과 3종 시설물 비율, 전남은 2종과 3종 시설물 비율이 높게 나타났다.

Fig. 5~Fig. 8에서는 안전진단등급에 따른 종별 개소수의 비율과 피해발생액과의 관련성을 분석하여 나타내었다. 그림에서는 전체, 1종, 3종 그리고 1+3종 관리개소수와 피해액과 관계를 나타내었으며, 상관성이 매우 높지는 않았지만, 1종 관리개소수와 피해액 사이의 관계가 상대적으로 높게 나타났다. 다른 자료들이 충분하지 않은 사정으로 이 자료를 추가적인 인자로 고려하였다. 전체 시설물수 관리 개소수와 피해액은 반비례의 관계를 나타내 고려하지 않았으며, 2종, 1+2종, 2+3종의 분석결과도 반비례의 관계를 나타내 그 결과는 수록하지 않았다. 여기서 1종 개소의 비율은 경기 (16.0%)가 가장 높게 나타났으며, 충남 (12.1%)이 두 번째로 나타나서 모두 비율이 20% 미만이었다. 그러나 지사별 비율은 20% 이상인 경우가 많은데, 일단 분석에서는 16% 이상인 경우에 재해 발생 가능성이 높은 것으로 간주하였다.

이상의 분석결과 구조물의 안전진단등급 (DSS)에 기상 관측소별 강우자료 중에서 전체 강우일수 중 일강우 80 mm 이상인 비율 (80 DP%), 그리고 농어촌공사의 지사 관리시설 중 1종 관리시설의 비율 (NS1)을 선정하여 멤버십 함수를 작성하였다. 다른 인자들에 대한 분석결과들에서는 유의미한 결과를 찾지 못하였다. 따라서 위 3가지 인자를 대상으로 퍼지 로직 모델의 적용성을 평가해 보고자 하였다.

Table 5 The number of structures and ratio with types of regional sectors

Region	No of structures	1 class		2 class		3 class		1 + 3 class	
		No.	ratio	No.	ratio	No.	ratio	No.	Ratio
Gyeonggi	658	105	16.0%	52	7.9%	501	76.1%	606	92.1%
Chungbuk	954	104	10.9%	87	9.1%	763	80.0%	867	90.9%
Chungnam	1,489	180	12.1%	152	10.2%	1,157	77.7%	1,337	90.0%
Jeonbuk	1,667	148	8.9%	302	18.1%	1,217	73.0%	1,365	81.9%
Jeonnam	2,727	300	11.0%	860	31.5%	1,567	57.5%	1,867	68.5%
Kyeongbuk	2,075	238	11.5%	481	23.2%	1,356	65.3%	1,594	76.8%
Gyeongnam	2,201	235	10.7%	523	23.8%	1,443	65.6%	1,678	76.2%
Sum	11,771	1,310	11.1%	2,457	20.9%	8,004	68.0%	9,314	79.1%

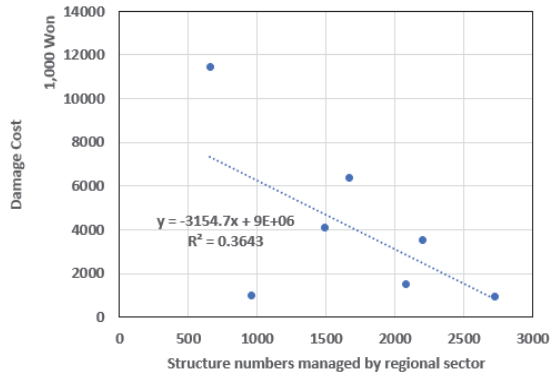


Fig. 5 Total structures vs. Damage cost

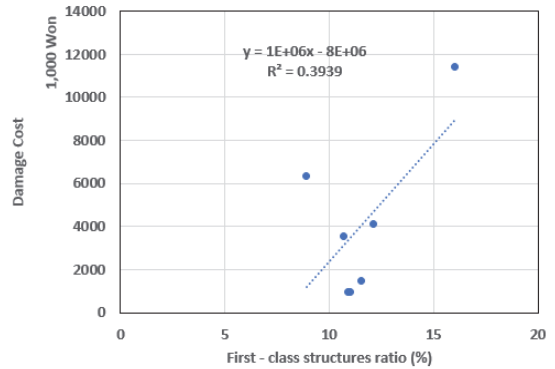


Fig. 6 First-class structures ratio vs. Damage cost

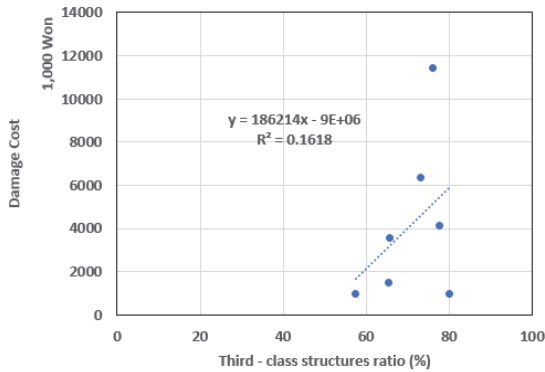


Fig. 7 Third-class structures ratio vs. Damage cost

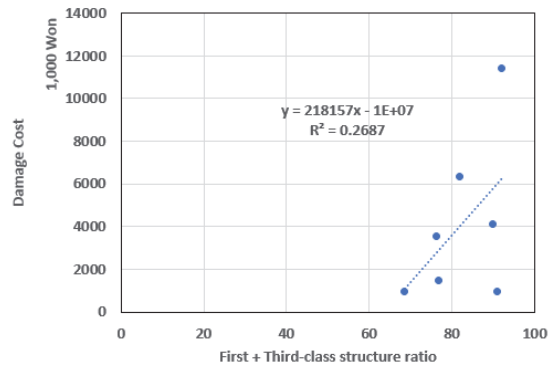
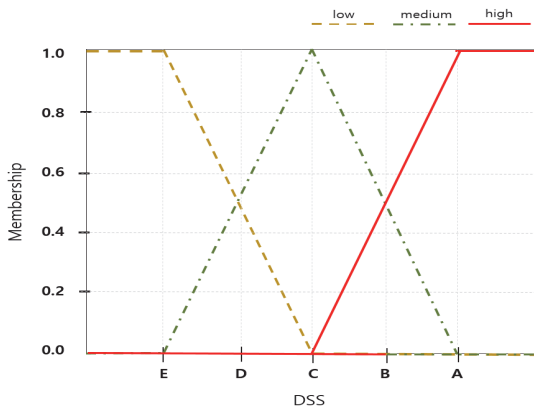


Fig. 8 First + Third-class structures ratio vs. Damage cost

## 2. 추론시스템 (inference system)의 작성

앞 절의 평가인자는 다음 Fig. 9-Fig. 11과 같은 멤버쉽함수를 이용하여 자료의 정량화와 정규화를 할 수 있다. MF는 가장 일반적인 삼각형과 사다리꼴을 이용하여 작성하였다. 그림 Fig. 9(a)는 시설물의 안전진단등급 (DSS)을 MF로 나타낸

것이다. 이때 특정 분위수 (percentile)에서 값들을 기상이변 발생 시 예상되는 위험성의 기준으로 사용할 수 있다. 이와 같은 MF는 시설물의 안전진단등급을 기준으로 Fig. 9(b)와 같이 추론을 설명할 수 있다. 여기서 안전성의 정도 (high, medium 그리고 low)를 결정하는 것은 기준에 축적된 자료가



(a)

- if  $C \leq DSS$ , safety is high
- if  $E < DSS \leq A$ , safety is medium
- if  $DSS < C$ , safety is low

(b)

Fig. 9 MF and Inference of DSS

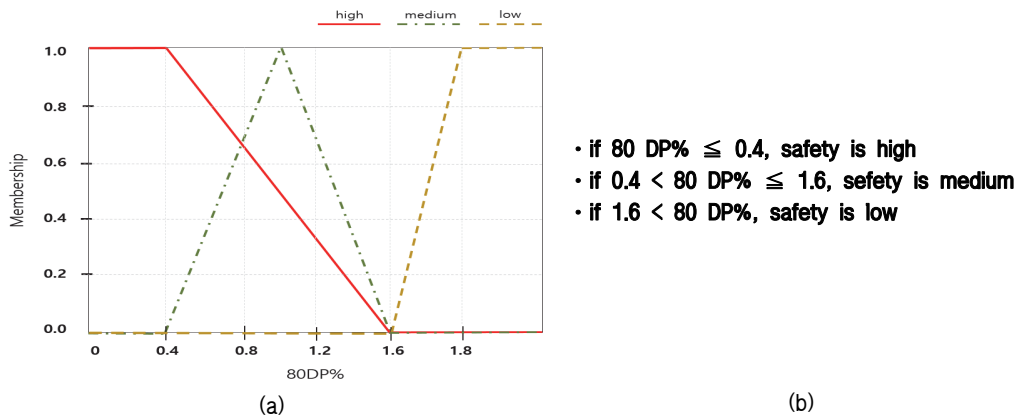


Fig. 10 MF and Inference of 80 DP%

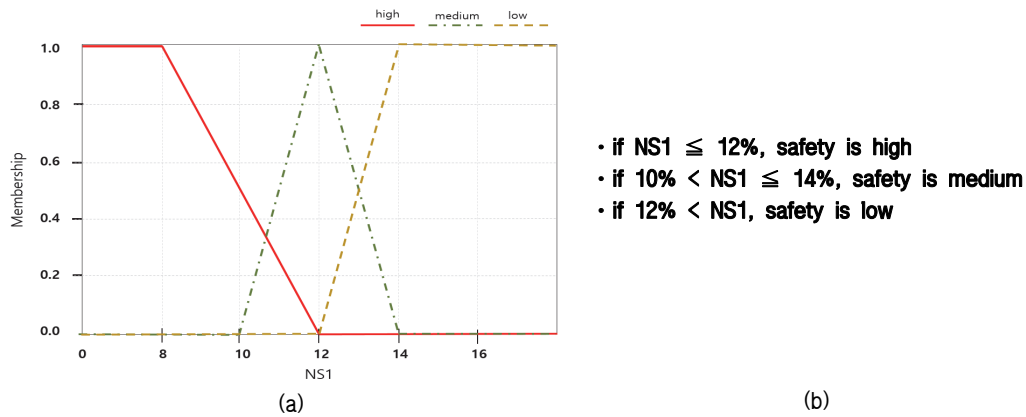


Fig. 11 MF and Inference of NS1

많으면, 그 자료들을 통계적기법으로서 분석하여 반영하면 된다. 그러나 충분한 자료가 확보되어 있지 않은 경우에는 전문가의 의견을 반영하여 결정할 수 있다. 본 연구에서는 객관적 자료 축적이 어려운 관계로 전문가 자문그룹의 협의 결과 등을 거쳐 결정하였다. 물론 이 MF는 향후 관련 자료들의 지속적 축적이 된다면 그를 근거로 계속적으로 수정하여 정확성을 높이면서 사용할 수 있다. Fig. 10과 Fig. 11은 전체 일강우일수 중 80 mm 이상인 일수의 백분율 (80 DP%)와 전체 관리개소수 중 1종 수의 비율 (12 NS%)을 기준으로 MF와 추론을 작성한 것이다.

이상의 멤버십함수와 추론시스템을 사용하여 퍼지논리를 적용한 후에는 그 결과를 다시 비퍼지화 해야 하는데, 본 연구에서는 Fig. 12(a)와 같은 MF를 적용하여 계산하였다.

### 3. 실제 적용사례

본 연구에서 개발한 퍼지논리 모델을 실제 사례에 적용하여 그 결과와 계산과정의 정확성을 검증하였다. 실제 사례로

는 2011년 8월 5일 한국농어촌공사, ○○지사, □□ 저수지 노후 폐통관 누수발생 및 복구 사례'로서, 본 저수지는 수혜면적 236.3 ha(유역면적 639 ha)규모이다. 사고발생은 '11. 08. 05(금) 정오 경에 폐통관 파손으로 누수가 발생하여 주변 농경지 침수피해가 발생하였다 (KRC, 2011).

사고 발생 저수지 안전진단등급 (DSS) 'C' 이었으며, 주변의 기상대 일강우량 자료에 의하면, 사고 당일에 강수발생은 없었으나 4일 전인 8월 1일에 124 mm를 기록하였다. 모델 계산을 위해 주변 기상관측소의 80 mm이상 강수발생 비율 (80 DP%)을 계산하고, 해당 지사의 1종 관리시설수 비율 (NS1)을 계산한 결과 각각 1.0%와 11.0%의 값을 얻었으며, 이를 본 연구에서 작성한 'R'과 python코드로 계산한 결과 '2.0'으로 나타났다 (Table 6과 Fig. 12(b) 참조).

물론 '2.0'이란 값이 대상 시설물의 안전성에 어떠한 의미를 부여하는가는 아직까지 정확히 설명할 수는 없지만 안전진단등급 'C'였던 대상 구조물에 구체적인 정량적인 값을 얻는 것이 가능하다는 사실을 알 수 있으며, 향후 관련 사고 사



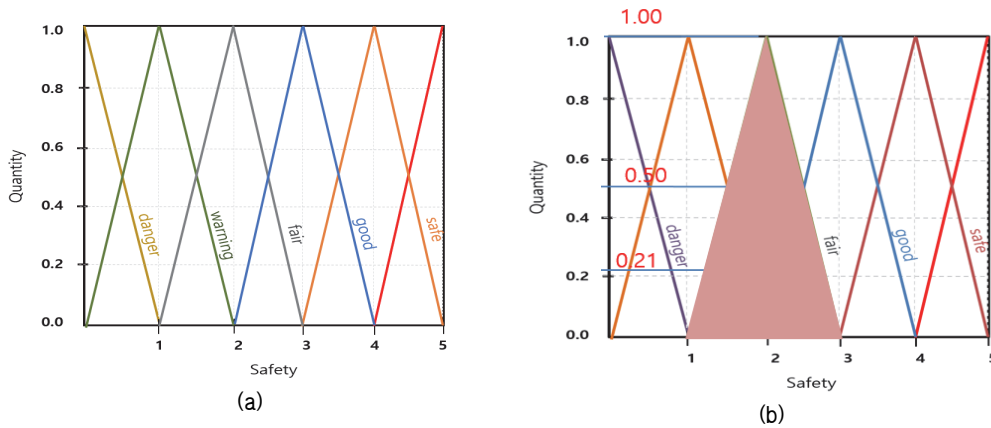


Fig. 12 Defuzzification functions and Mandani inference results

Table 6 Fire strength results

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>DSS = md \ \&amp; \ DP80 = hi \ \&amp; \ NS1 = sm \ \rightarrow \ "fair" \ \rightarrow \ "max(1.0, 0.5, 0.21)"</math></li> <li>• <math>DSS = md \ \&amp; \ DP80 = hi \ \&amp; \ NS1 = md \ \rightarrow \ "fair" \ \rightarrow \ "max(1.0, 0.5, 0.5)"</math></li> <li>• <math>DSS = md \ \&amp; \ DP80 = md \ \&amp; \ NS1 = sm \ \rightarrow \ "fair" \ \rightarrow \ "max(1.0, 1.0, 0.21)"</math></li> <li>• <math>DSS = md \ \&amp; \ DP80 = md \ \&amp; \ NS1 = md \ \rightarrow \ "fair" \ \rightarrow \ "max(1.0, 1.0, 0.5)"</math></li> </ul>
--

레들에 대한 자료분석 결과들을 축적하면 더 명확한 기준 (혹은 경계)값을 얻을 수 있을 것으로 보인다. 계산과정에 대한 설명을 부연하면, DSS, 80 DP% 그리고 NS1 3가지 인자 값들을 멤버쉽함수에 적용하여 퍼지화해 보면, 추론시스템에서 Table 6과 같이 4가지의 경우에 해당하고 이를 ‘Mandani’ 방법을 이용한 Fig. 12(a)에 적용하여 Fig. 12(b)와 같은 결과를 얻은 것이다. 이 결과는 그 정확성을 확인하기 위하여 matlab (mathwork)의 ‘Fuzzy-inference’함수를 사용하여 재계산 결과와도 일치하는 것으로 나타나서 계산을 정확했던 것으로 보인다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 퍼지논리 (fuzzy-logic)를 이용하여 기존 농업 필댐의 안전진단제도를 보완·개선하는 방안에 대해서 연구하여 그 적용성을 검토해 보았다. 연구에서는 기존의 안전진단등급에 더하여 기후변화 상황을 반영하기 위하여 전국 기상대의 강우자료를 분석하여 반영하였고, 한국농어촌공사의 지사 단위로 운용되고 있는 관리체계의 특성을 반영한 인자도 적용하여 퍼지논리로 안전성을 계산해 보았다. 연구에서는 멤버쉽모델을 개발하고 추론시스템도 구성하였다. 또한 실제 사례를 적용하여 인자 값들을 추출하고 그 값들을 본

연구에 작성한 코드를 통하여 계산하였으며, 그 결과 값도 정확했다는 사실을 확인하였다.

그러나 아직까지 관련 자료들이 충분히 확보하기 어려운 문제 등으로 멤버쉽함수, 추론시스템 그리고 최종결과 값에 대한 판정 등 시스템 전체에 대한 정확성은 조금 더 향상이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 이는 향후 관련 자료의 축적과 전문가들의 참여 등으로 충분히 개선될 여지가 많으며, 따라서 시스템의 발전성과 적용성은 매우 높다고 판단되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 재원으로 학문균형발전사업 지역대학우수과학자지원사업의 지원을 받아 연구되었음 (과제번호: 2019R1I1A3A01041192).

#### REFERENCES

1. Agricultural Alimi Service, <https://www.alimi.or.kr/>, contact: 2023.04.06.:11:25
2. Bárdossy, G., and J. Fodor, 2004. Evaluation of Uncertainties and Risks in Geology, New Mathematical Approaches for their Handling, Springer.

3. Choi, B. H., J. Y. Yim, and H. H. Kwon, 2018. Climate Change, Deterioration, DSS (Decision Support System), Uncertainty, Reservoir, Risk Analysis, Probability of Failure, Bayesian Network. Research Report.
4. Choi, I. M., 2022. [Topic presentation] A Study on the Capacity Enhancement of Flood Damage. Measures to strengthen the safety of agricultural reservoirs in response to extreme floods, proceeding of a parliamentary debate.
5. Hu, Z., Y. V. Bodyanskiy, and O. K. Tyshchenko, 2019. Self-Learning and Adaptive Algorithms for Business Applications, A Guide to Adaptive Neuro-fuzzy Systems for Fuzzy Clustering under Uncertainty Conditions, emerald publishing.
6. ICOLD WRD (International Commission on Large Dams World Register of Dams), 2020. World Register of Dams: General Synthesis. Accessed October 01, 2020 at [https://www.icold-cigb.org/GB/world\\_register/general\\_synthesis.asp](https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp)
7. Islam, M. S., M. P. Nepal, M. Skitmore, M. Attarzadeh, 2017. *Current research trends and application areas of fuzzy and hybrid methods to the risk assessment of construction projects*, Advanced Engineering Informatics, 33: 112-131.
8. Jang, J.-S. R. 1993. *ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 23(3): 665-85.
9. Kecman, V., 2001. Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models (Complex Adaptive Systems) 1st Edition, A Bradford Book by Vojislav.
10. Kim, S. J., S. M. Kim, S. M. Kim, 2013. *A Study on Development of Vulnerability Assessment Criteria for Agricultural Infrastructure According to Climate Change*, J. of Agri. & Life Sci., 47(1): 205-213.
11. Korea Authority of Land and Infrastructure Safety, [https://www.kalis.or.kr/wpge/m\\_681/business/gate15.do](https://www.kalis.or.kr/wpge/m_681/business/gate15.do), contact:2023.03.28.:10:00
12. Korea Rural Community Corp., Safety Diagnosis Headquarters, <https://www.alimi.or.kr/home/a/selectKrcHome.do>, contact: 2023.03.28.:10:00
13. Korea Rural Community Corp., 2010. A Casebook of Overcoming Storm and Storm Drought.
14. Korea Rural Community Corp., 2011. A Casebook of Overcoming Storm and Storm Drought.
15. Korea Rural Community Corp., 2013. A Casebook of Overcoming Storm and Storm Drought.
16. Korea Rural Community Corp., 2014. A Casebook of Overcoming Storm and Storm Drought.
17. Korea Rural Community Corp., 2015. A Casebook of Overcoming Storm and Storm Drought.
18. Korea Rural Community Corp., 2016. Casebook for Overcoming Natural Disasters.
19. McBratney, A. B., and I. O. A. Odeh, 1997. *Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions*. Geoderma 77, 85-113.
20. Mamdani, E. H., and S. Assilian, 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies* 7(1): 1-13.
21. Mathwork Co., Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems, <https://kr.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>, 접속: 2023. 03. 28, 17:10.
22. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021. Special Act on the Safety and Maintenance of Facilities, No. 17946.
23. Ministry of the Interior and Safety, 2017. Yearbook of disasters.
24. Ministry of the Interior and Safety, 2018. Yearbook of disasters.
25. Myung, S. J., J. Y. Kim, S. H. Shin, and B. O. Ahn, 2010. Assessing Vulnerability to Climate Change of the Physical Infrastructure and Developing Adaptation Measures in Korea II, Korea Institute of Environmental Research 2010.
26. Pakosch, S., 2021. Development of a Fuzzy Rule Based Expert System for Flood Forecasts within Meso-scale Upper Main Basin (Mitteilungen/institut Fur Wasserwesen), Shaker Verlag GmbH, Germany.
27. Ponce-Cruz, P., and F. D. Ramirez-Figueroa. 2009. Intelligent Control Systems with LabVIEW. Springer. 9-46.
28. Shang, K., and Z. Hossen. 2013. Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making. CAS/CIA/SOA Joint Risk Management Section.
29. Singh, H., and Y. A. Lone, 2020. Deep Neuro-Fuzzy Systems with Python With Case Studies and Applications from the Industry, Apress.
30. Takagi, T., and M. Sugeno, 1985. *Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control*, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 15(1): 116-132.
31. Werro, N., 2008. Fuzzy Classification of Online Customers. the University of Fribourg neither. a doctoral

dis-sertation 9-32.

32. Zadeh, L. A., 1965. *Fuzzy sets*, Information and Control, 8(3): 338-353.
33. Zimmermann, H. -J., 2010. *Fuzzy set theory*, *Advanced Review*, 2: 317-332.